

Tâche secondaire et conscience de l'environnement, une application mobile pour véhicule semi-autonome

Secondary task and Situation Awareness, a mobile application for semi-autonomous vehicle

Marine Capallera
HumanTech Institute,
HES-SO//University of Applied
Sciences Western Switzerland
Fribourg, Switzerland
marine.capallera@hes-so.ch

Leonardo Angelini
HumanTech Institute,
HES-SO//University of Applied
Sciences Western Switzerland
Fribourg, Switzerland
leonardo.angelini@hes-so.ch

Quentin Meteier
HumanTech Institute,
HES-SO//University of Applied
Sciences Western Switzerland
Fribourg, Switzerland
quentin.meteier@hes-so.ch

Stefano Carrino
Haute Ecole Arc Ingénierie, HES-SO
Neuchâtel, Switzerland
stefano.carrino@hes-so.ch

Elena Mugellini
HumanTech Institute,
HES-SO//University of Applied
Sciences Western Switzerland
Fribourg, Switzerland
elena.mugellini@hes-so.ch

Emmanuel de Salis
Haute Ecole Arc Ingénierie, HES-SO
Saint-Imier, Switzerland
emmanuel.desalis@he-arc.ch

Omar Abou Khaled
HumanTech Institute,
HES-SO//University of Applied
Sciences Western Switzerland
Fribourg, Switzerland
omar.aboukhaled@hes-so.ch

ABSTRACT

Autonomous vehicles are developing rapidly and will lead to a significant change in the driver's role: he/she will have to move from the role of actor to the role of supervisor. Indeed, the driver will soon be able to perform a secondary task but he/she must be able to take over control in the event of a critical situation that is not managed by the autonomous system. This implies that the role of new interfaces and interactions within the vehicle is important to take into account. This article describes the design of an application that provides the driver with information about the environment perceived by his/her vehicle in the form

of modules. This application is displayed as split screen on a tablet by which a secondary task can be performed. Initial tests were carried out with this application in a driving simulator. They made it possible to test the acceptance of the application and the clarity of the information transmitted. The results generally showed that the participants correctly identified some of the factors limiting the proper functioning of the autonomous pilot while performing a secondary task on a tablet.

CCS CONCEPTS

• **Human-centered computing** → **Interaction techniques.**

KEYWORDS

mobile application, semi-autonomous driving, Human-Vehicle Interaction (HVI), situation awareness, secondary task, user test

RÉSUMÉ

Les véhicules autonomes se développent rapidement et entraîneront un changement de rôle important chez le conducteur : ce dernier sera amené à passer du rôle d'acteur à celui de superviseur. En effet, le conducteur sera bientôt en mesure

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than the author(s) must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from permissions@acm.org.
IHM'19, December 10–13, 2019, Grenoble, France

© 2019 Copyright held by the owner/author(s). Publication rights licensed to ACM.

ACM ISBN 978-1-4503-7026-4/19/12...\$15.00

<https://doi.org/10.1145/3366550.3372258>

d'effectuer une tâche secondaire mais devra toutefois être capable de reprendre le contrôle dans le cas d'une situation critique non gérée par le système autonome. Ceci implique que le rôle des nouvelles interfaces et interactions au sein du véhicule est important à prendre en compte. Cet article décrit la conception d'une application transmettant au conducteur des informations relatives à l'environnement perçu par son véhicule sous forme de modules. Cette application s'affiche en partage d'écran sur une tablette grâce à laquelle une tâche secondaire peut être effectuée. De premiers tests ont été effectués avec cette application dans un simulateur de conduite. Ils ont permis de tester l'acceptation de l'application et la clarté des informations transmises. Les résultats ont globalement montré que les participants ont correctement identifié certains facteurs limitant le bon fonctionnement du pilote autonome tout en réalisant une tâche secondaire sur tablette.

MOTS CLÉS

application mobile, conduite semi-autonome, Interaction Homme-Véhicule (IHV), conscience de la situation, tâche secondaire, test utilisateur

1 INTRODUCTION

L'industrie de l'automobile connaît aujourd'hui de nombreux changements suite à l'implémentation de systèmes de plus en plus automatisés. L'utilisation de nouveaux algorithmes de machine learning et deep learning et notamment des intelligences artificielles permet de développer des aides à la conduite (ADAS) de plus en plus performantes, tendant à une conduite complètement autonome dans les années à venir. A terme, la conduite autonome vise à augmenter la sécurité sur les routes (90% des accidents sont dus à une erreur humaine [3]) et le confort des usagers mais également à réduire le trafic et son impact environnemental. Les ADAS actuelles permettent déjà de prévenir de situations dangereuses (aide au freinage d'urgence), d'assister le conducteur dans la perception de l'environnement (voyants d'angle mort, caméra de recul...) et de libérer le conducteur de certaines tâches (régulateur ou limiteur de vitesse). Cependant, le conducteur doit encore surveiller entièrement son environnement et ne peut pas effectuer une tâche non liée à la conduite. C'est pourquoi des véhicules semi-autonomes sont en cours de développement avant la mise en place de systèmes totalement autonomes. Les véhicules de niveau 3 selon la classification proposée par SAE [20] permettent ainsi au conducteur d'effectuer une tâche non liée à la conduite sans que celui-ci n'ait besoin de surveiller constamment son environnement. En effet, des études démontrent que la tâche de surveillance est particulièrement ennuyante et peut induire de la somnolence sans tâche secondaire associée [31]. Toutefois, le conducteur doit quand même être capable de reprendre le contrôle du véhicule (passage de la conduite autonome à la

conduite manuelle) à la demande de ce dernier si la situation ne peut être gérée par le système autonome. Si le conducteur s'engage dans une tâche secondaire, ce dernier se retrouvera en dehors de la boucle de contrôle et un retour à la conduite manuelle lui apparaîtra plus difficile car lui demandera une charge cognitive plus importante [14].

Dans cet article, nous proposons de transmettre différentes informations relatives à l'environnement du véhicule et liées au bon fonctionnement du système autonome sur une tablette via une application Android. Le but de cette application est de permettre au conducteur d'effectuer une tâche secondaire tout en conservant sa conscience de l'environnement afin de pouvoir réaliser des reprises de contrôle efficaces si nécessaire. En plus de partager la même interface que la tâche secondaire, l'utilisation d'une tablette ou d'un smartphone ne requiert aucun ajout d'interfaces sur la voiture ou l'utilisateur (affichage ambiant, casque...). De plus, ces types d'appareil sont déjà couramment utilisés. Leur utilisation serait donc facilement intégrable dans un véhicule de niveau 3 autorisant ces dispositifs (avec la seule condition de pouvoir récupérer les informations collectées par le véhicule). L'application est également en charge de transmettre la demande de reprise de contrôle dans le cas d'une situation critique.

Cet article présente tout d'abord un état de l'art des interactions actuelles permettant d'augmenter la conscience de l'environnement du conducteur et de réaliser des demandes de reprises de contrôle dans le cas de la conduite autonome. Il présente aussi les facteurs limitant l'utilisation des ADAS et des systèmes autonomes. Il décrit ensuite la conception de l'application ainsi que les tests utilisateurs réalisés et leurs résultats. Enfin, de futures pistes de recherches utilisant cette application ou dérivant de ces résultats sont avancées.

2 ETAT DE L'ART

Analyses des interactions

Un état de l'art a tout d'abord été effectué afin d'extraire les types d'interaction et interface permettant d'augmenter la conscience de l'environnement (en anglais Situation Awareness, SA) du conducteur dans le cadre de la conduite semi-autonome dans un contexte de recherche. A notre connaissance et basé sur les résultats de cette revue de la littérature, il n'existe pas encore d'articles scientifiques ayant proposé un tel concept d'application mobile sur tablette ou smartphone. Seule l'étude de Miller et al. [25] propose d'utiliser une tablette afin d'effectuer une reprise de contrôle mais ne communique aucune information concernant l'environnement du véhicule. Jusqu'à maintenant, les interactions proposées sont principalement visuelles (lumières ambiantes sur le pare-brise et montants [24], utilisation de la réalité augmentée sur le pare brise [28]), sonores (utilisation d'alarmes

lors de situations critiques [32], voire même d'alarmes spatialisées [6]) et haptiques (vibrations dans le dossier du conducteur [18]), changement de forme du volant [26]). Une étude sur les systèmes olfactifs a même été réalisée [12] et pourra s'implémenter par la suite dans le cadre des véhicules autonomes. Les interactions multimodales sont le plus souvent des interactions visuelles et auditives (principalement des logos associés à des sons ou des textes écrits associés à des conversations) [27, 29].

Analyses des Take-Over Request

L'état de l'art sur les Take-over requests (TOR) (appelé demande de reprise de contrôle) a permis de démontrer leur usage en tant qu'objet primaire de recherche dans le cadre des IHV (Interaction Homme-Véhicule) [7], [17], [23], mais aussi en tant qu'évaluateur de la SA [21]. L'acceptation des TOR par les utilisateurs a aussi été étudiée [5], avec plusieurs conclusions à considérer, notamment une préférence des utilisateurs pour les signaux multimodaux en cas de situation critique, ce qui est le cas dans le cadre de cette expérience. Concernant la modalité auditive, les messages vocaux sont également préférés aux sons abstraits [5]. Dans le cadre de cette expérience, un TOR a été implémenté selon le modèle multimodal visuel-auditif, répandu dans la littérature [17].

Analyses des limitations

En plus de l'analyse permettant d'identifier les types d'interaction et interface, il est aussi nécessaire d'identifier les facteurs limitant le fonctionnement des véhicules semi-autonomes. Dans toute la suite de l'article, le mot *limitation* désignera un facteur limitant l'utilisation des ADAS et des systèmes autonomes. Afin de déterminer les situations critiques auxquelles sont confrontés ces véhicules, deux études ont été menées sur les facteurs limitant l'utilisation des systèmes autonomes des véhicules actuellement sur le marché (niveau 2 SAE) et des véhicules semi-autonomes en cours de test (niveau 3 SAE et plus) [20]. Cette analyse a permis de déduire les informations utiles à transmettre au conducteur via les interfaces homme-machine afin d'augmenter sa SA. L'étude des niveaux 2 s'est portée sur l'extraction des limitations directement dans les manuels utilisateurs des modèles de voitures choisies [9]. Au total, 12 manuels (disponibles au public) de 12 marques de véhicules différentes ont été analysés. Les principales limitations concernent la gestion de l'environnement et des obstacles sur la voie par le véhicule. Cette analyse permet de mettre en avant les situations critiques auxquelles font face les ADAS et donc de déduire des potentiels scénarios de test d'interfaces et interactions homme-véhicule. Cette analyse a également été complétée par l'analyse des interfaces de ces véhicules. Ce complément a permis de faire le lien entre les limitations et les informations prioritaires à communiquer au conducteur.

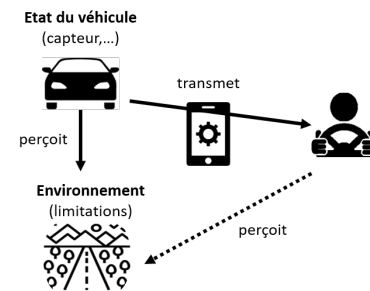


FIGURE 1: Architecture du concept

L'étude des niveaux 3 s'est faite au travers des rapports de désengagement des systèmes autonomes de 2015 à 2018 [13]. Cette analyse complète les précédents travaux de [16] et [15]. Un total de 154 962 désengagements (sans prendre en compte des désengagements planifiés pour tester la technologie) ont été reportés parmi 36 fabricants au cours de ces trois années. Les principales limitations concernent le conducteur. La majorité des transitions du mode autonome au mode manuel ont été effectuées par ce dernier suite à un sentiment d'inconfort ou de manque de confiance envers le système autonome. Cette analyse démontre qu'il est nécessaire de prendre en compte le conducteur et les implications de ces limitations dans le design et la conception des interactions homme-véhicule.

Conclusion de l'état de l'art

Cette recherche sur l'état de l'art a donc permis de mettre en exergue plusieurs points-clés : les limitations des véhicules semi-autonomes ne sont que peu transmises au public, hors leur présence dans les manuels d'utilisateurs. Par conséquent, transmettre passivement ces informations pour augmenter la SA est une possibilité. Le choix d'utiliser une tablette tactile comme vecteur d'information est intéressant car cette piste n'est pas représentée dans la littérature à notre connaissance.

3 CONCEPTION

La conception des interactions entre le conducteur et le véhicule se base sur l'implémentation de différentes limitations relevées ci-dessus et la communication de ces dernières par une tablette Android sur laquelle est réalisée une tâche secondaire (Figure 1). Les limitations et informations relatives à l'environnement sont transmises par différents modules décrits ci-après.

Actuellement, les ADAS implémentées dans les véhicules de niveau 2 utilisent des technologies telles que des caméras, des radars ou des capteurs à ultrasons pour détecter des objets jusqu'à une certaine distance [4]. Dans le futur, on peut aussi imaginer que les véhicules pourront bénéficier de technologies déjà existantes telles que des services de

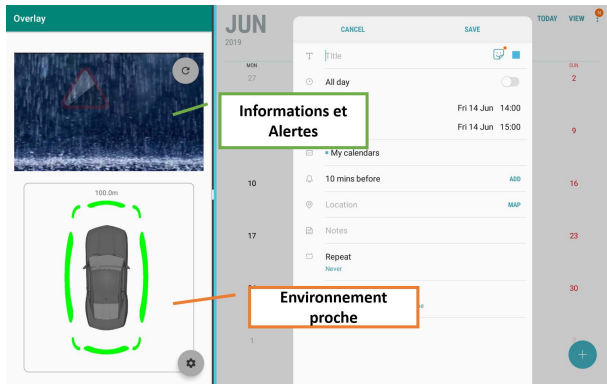


FIGURE 2: Application Android en partage d'écran avec une tâche secondaire (ici, l'agenda)

géo-localisation similaires à Waze [1], mais aussi de technologies émergentes telles que V2V (Vehicle to Vehicle) ou V2I (Vehicle to Infrastructure) [10, 19]. Ce genre de technologie pourraient permettre au véhicule de connaître les dangers et facteurs critiques qui se situeraient plus loin sur son parcours, comme des obstacles, des accidents, ou encore des conditions météorologiques défavorables. Toutes ces données relatives à l'environnement du véhicule sont envoyées en temps réel à l'application dans une trame. Chaque limitation est associée à un niveau de sévérité (de 0 à 3) qui pourra correspondre à différente modalité ou à une variation de son affichage. Une requête de désengagement par le véhicule est également envoyée par cette même trame à l'application Android. Ainsi, l'affichage de l'application Android (Figure 2) que nous avons développée s'appuie sur cette réflexion et se divise en 2 parties :

- “Informations et Alertes” : cette partie transmet des données relatives à des événements ponctuels qui nécessitent d'alerter le conducteur. Elles sont affichées par le biais de différents logos (Figure 3) si la limitation est présente (forte pente, obstacles, virages serrés...). Un changement de conditions météorologiques est caractérisé par un changement de l'image du fond. Différentes icônes sont prévues pour distinguer les niveaux 1 et 2 de sévérité. Dans le cas d'un niveau 3, le logo de niveau 2 s'affiche en clignotant.
- “Environnement proche” : cette partie transmet des informations relatives à l'environnement proche du véhicule, pouvant être obtenues par le biais de capteurs. Ici, les capteurs de proximité sont représentés pour signaler la présence d'un élément autour de la voiture (vert : rien à signaler, orange : détection d'un obstacle, rouge : détection d'un obstacle très proche). Si le véhicule suit un véhicule (en utilisant le régulateur de vitesse adaptatif par exemple), la distance



FIGURE 3: Logos utilisés par l'application pour fort relief, virage serré et obstacle à l'avant

entre les deux véhicules est affichée. Ce module donne également des informations sur l'état du marquage au sol.

L'application est affichée en partage d'écran et permet ainsi d'afficher ces deux modules, tout en laissant la possibilité au conducteur de réaliser une tâche secondaire sur la tablette (ou smartphone). Il est à noter que la partie “Environnement proche” comprend un bouton permettant d'accéder aux diverses options de connexion.

Dans le cas d'une demande de désengagement, un texte “TAKEOVER” s'affiche en même temps qu'une voix annonçant “takeover now”. Il est aussi prévu de faire vibrer la tablette si elle le permet.

4 EXPÉRIENCE

Participants

12 participants (9 hommes et 3 femmes) ont pris part à l'expérience. L'âge des participants était situé entre 18 et 37 ans ($M=23.75$, $SD = 5.05$). En moyenne, ils ont déclaré parcourir 3105 km par an ($SD=4188$ km) et sont tous détenteurs du permis de conduire depuis environ 6 ans ($SD=5.25$). 4 participants ont admis avoir eu un accident au cours des 3 dernières années. Le seul critère pour participer à cette expérience était d'être en possession d'un permis de conduire valide. Chaque participant a rempli un formulaire de consentement avant de prendre part à l'expérience.

Matériel

L'expérience a été réalisée sur un simulateur à base fixe comme le montre la Figure 4. Le poste de conduite principal comprend deux sièges de voiture positionnés côte à côte, des ceintures de sécurité, un volant Logitech G27, et des pédales d'accélération, de freinage et d'embrayage. Dans cette étude, la pédale d'embrayage n'est pas utilisée car la transmission des vitesses se fait de manière automatique. L'inclinaison, la hauteur et la position longitudinale des sièges par rapport au volant sont réglables comme dans un vrai véhicule. Une tablette tactile (marque Waveshare, taille 13.3 pouces) est située derrière le volant afin d'afficher le tableau de bord du véhicule avec le compteur de vitesse, le compte tours et certains logos relatifs à l'état du système autonome du véhicule. Toute cette structure a été installée devant un grand



FIGURE 4: Simulateur de conduite

écran (158 x 210 cm) où le logiciel de simulation de conduite est projeté grâce à un rétro-projecteur (modèle Epsilon EH-TW3200). Deux haut-parleurs ont été installés derrière les sièges. L'ensemble de l'installation est situé dans une cabine plastique semi-fermée avec un éclairage ambiant relativement faible, permettant d'isoler et immerger le plus possible le participant dans l'environnement de conduite. Concernant la simulation de conduite, le logiciel utilisé est GENIVI [2], créé en collaboration par un consortium de constructeurs automobiles pour la recherche sur les véhicules autonomes. Ce logiciel a été choisi car il propose 3 environnements de conduite réalistes, dont un comprenant le mode autonome. Le scénario utilisé modélise le parc national Yosemite (USA) et propose une conduite en mode autonome pendant au minimum 20 minutes sans interruption. Ici, le mode autonome ne requiert pas au conducteur de surveiller l'environnement, lui laissant la possibilité de faire une tâche secondaire. Ce niveau d'automation peut être classé comme niveau 3 selon la classification SAE [20]. Pour réaliser la tâche secondaire, le participant tenait dans ses mains une tablette tactile (marque Samsung Galaxy Tab A). Pour la moitié des participants, l'application développée dans le cadre de cette expérience était affichée sur le côté gauche de la tablette et la tâche secondaire en partage d'écran sur le côté droit (groupe A). Pour l'autre moitié des participants, seulement l'application de la tâche secondaire était affichée (groupe B). Un dictaphone a également été utilisé afin d'enregistrer les commentaires des participants durant l'expérience de conduite.

Scénario

Afin de tester l'utilisation d'une telle application dans une voiture semi-autonome de niveau 3, nous avons modifié le scénario de base proposé par GENIVI dans lequel ont été implémentées les limitations suivantes (Figure 5). La première zone est caractérisée par une forte pluie et une modification

du relief à certains endroits (forte pente). La deuxième zone comprend un marquage légèrement effacé de la ligne centrale de la route (ligne gauche par rapport au véhicule). La troisième zone comprend un obstacle (rocher) présent sur la voie opposée à celle du véhicule. Le marquage de la ligne droite de la route est légèrement effacé dans la quatrième zone. Enfin, la dernière zone marque la présence d'un obstacle mobile (cerf) sur le bas côté droit et qui ensuite se déplace sur la voie principale, entraînant le véhicule à demander une reprise de contrôle de la part du participant-e. Le bon comportement à adopter dans cette situation est de reprendre le contrôle et de freiner et/ou d'éviter l'obstacle. Le passage dans chacune de ces zones provoque une modification des logos ou des modules de l'application, qui peuvent être observés par le conducteur sans avoir à regarder la route. Il a été choisi d'implémenter ces limitations car elles font parties des plus critiques parmi celles relevées lors de l'analyse [9]. De plus, elles sont aussi relativement faciles à implémenter dans l'environnement virtuel d'un scénario de conduite.

Procédure

Le-la participant-e entre dans la salle et est accueilli-e par l'expérimentateur qui lui explique le but de l'expérience. Il-elle commence par remplir le formulaire de consentement et lire les instructions décrivant le contexte, les objectifs et la procédure de l'expérience. Il-elle peut ensuite remplir la première partie du questionnaire sur l'ordinateur, qui comprend des questions portant sur des données démographiques ainsi que sur la conduite de manière générale. Le-la participant-e est ensuite invité-e à entrer dans le simulateur et à s'installer derrière le volant. Il-elle peut régler l'inclinaison, la hauteur et la distance entre le siège et le volant afin de se sentir installé-e comme dans un vrai véhicule. Quelques instructions supplémentaires sont données par l'expérimentateur avant de commencer la session principale de conduite. Il est rappelé au-la conducteur-trice qu'il-elle est au volant d'un véhicule autonome de niveau 3 [20]. Dans le cas d'une demande de désengagement, le-la pilote recevra une alerte visuelle et sonore sur le tableau de bord et la tablette tactile servant à faire la tâche secondaire (dans le cas de l'utilisation de l'application). Le groupe A reçoit également une pré-alerte avant la demande de reprise de contrôle. Cette pré-alerte est réalisée par l'affichage d'un logo dans le module supérieur (Figure 3, droite). Pour reprendre le contrôle et désactiver le pilote autonome, le-la conducteur-trice peut soit tourner le volant, soit freiner, soit appuyer sur le bouton supérieur droit du volant. Comme mentionné auparavant, il est demandé au-la participant-e de réaliser une tâche secondaire sur une tablette pendant que le véhicule roule de manière autonome. La tâche secondaire demandée est de finir le plus grand nombre de sudoku en 14 minutes (durée de l'expérience). Le choix s'est porté sur cette tâche car elle

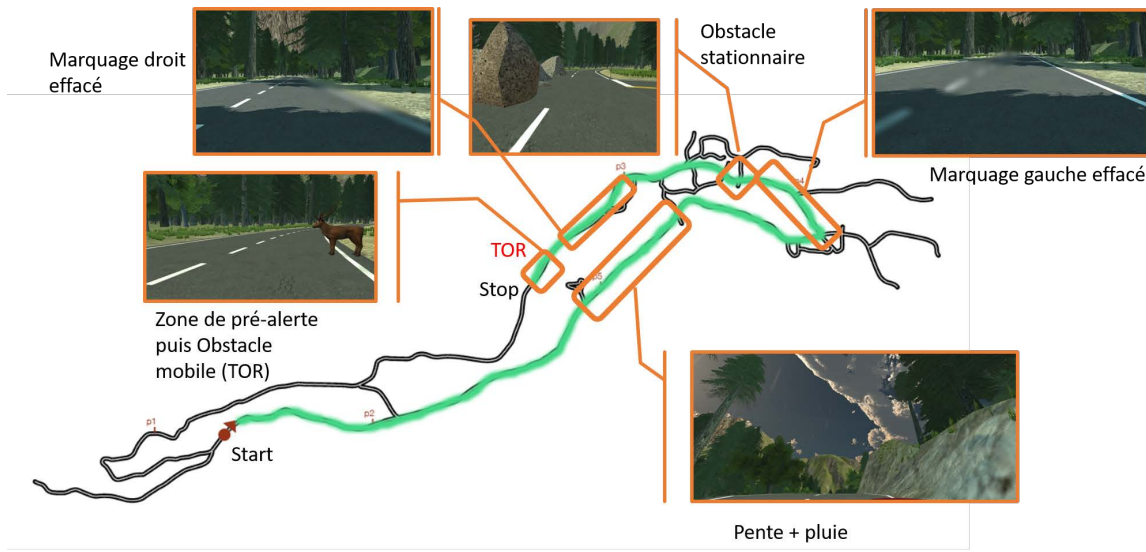


FIGURE 5: Scénario de l'expérience

implique au conducteur d'être assez concentré pour résoudre les sudoku et ainsi se délaier de la tâche de supervision de l'environnement du véhicule. De plus, cette tâche permet de mesurer la performance de chaque participant-e. Pour le groupe A, il est aussi expliqué qu'il-elle a accès aux données relatives à l'environnement du véhicule directement sur la partie gauche de l'écran grâce à l'application en partage d'écran développée dans le cadre de l'étude. La signification des différents modules est détaillée par l'expérimentateur avant le début de l'expérience. Le-la participant-e a peut aussi voir la vitesse du véhicule ainsi que l'état du système autonome sur l'écran situé derrière le volant. Le logo change si le pilote autonome est activé ou non. Il est également demandé à tous les participants de commenter oralement, pendant toute la durée de l'expérience, tout changement visible dans l'environnement du véhicule et/ou sur l'application mobile. Lorsque le sujet est prêt, la session de conduite autonome peut commencer. La session de conduite se termine après la reprise de contrôle (réussie ou non). Le-la participant-e peut alors sortir du simulateur et remplir la deuxième partie du questionnaire. Il-elle est ensuite remercié-e et récompensé-e pour sa participation.

Questionnaires et mesures

Lors de pré-tests, un des objectifs était de valider le fonctionnement de l'application développée sous Android, de valider l'acceptation de l'application et la compréhension des différents éléments de celle-ci. Pour cela, nous avons créé un questionnaire post-expérience composé de 3 sections. Ce questionnaire a été réalisé grâce au module Google Form. La première section demandait aux participants quels étaient les

facteurs rencontrés lors de l'expérience qui limitent le bon fonctionnement du système autonome. De plus, différents logos correspondants à des limitations étaient proposés et chaque participant devait dire si il avait vu le logo ou non. La deuxième section proposait des questions fermées portant sur le design global de l'application et des différents modules, ainsi que sur la compréhension des logos et changements d'états. Toutes les questions fermées comprenaient une échelle de 1 à 7, 7 étant le score le plus haut. Une question ouverte permettait aussi au participant de suggérer des améliorations sur le design de l'application Android. La dernière section était composée de questions ouvertes afin d'avoir un retour global écrit (points positifs et négatifs) de la part des participants sur l'expérience qu'ils venaient de réaliser.

Un autre objectif de cette expérience était de comparer le nombre de facteurs critiques vu par les participants avec ou sans l'application. Pour cela, un enregistrement audio des commentaires des participants a été réalisé, dans le but d'extraire le temps de prise de conscience des participants pour chaque limitation. Ce temps a pu être calculé seulement dans le cas où le participant a mentionné la limitation. Cette information a aussi été recoupée avec le questionnaire post-expérience.

Les données relatives à la conduite ont aussi été enregistrées de manière automatique pour tous les participants, comme par exemple la vitesse du véhicule ou encore l'état du système autonome (activé ou désactivé). Ainsi, nous avons pu extraire leur temps de réaction suite à la demande de reprise de contrôle.

5 RÉSULTATS

Pré-tests

Le but de cette phase de pré-test était de valider le fonctionnement de l'application mobile et vérifier sa synchronisation avec le scénario de conduite présenté aux participants. 5 participants (4 hommes et 1 femme) y ont pris part. Nous avons aussi profité de ces pré-tests pour demander aux participants de noter le design et la compréhension des éléments de l'application. Le design global de l'application a obtenu une note de 5.6 sur 7 (SD=1.02) et le design des logos une note de 6 sur 7 (SD=0.89). Pour la partie "Environnement proche" affichant les informations relatives à l'environnement du véhicule, les participants ont noté son design avec une note moyenne de 6.4 sur 7 (SD=0.8). Ensuite, les participants ont indiqué avoir compris les informations transmises par l'application (logos, couleurs, fond d'écran) avec une note de 6 sur 7 (SD=0.63). De manière globale, ils ont jugé l'expérience immersive (5.2 sur 7, SD=0.75) et ont estimé que cette application serait utile dans le cadre de la conduite semi-autonome (6.2 sur 7, SD = 0.75). De plus, lors du passage du véhicule dans la première zone avec les conditions climatiques défavorables (forte pluie), un changement du fond d'écran de la partie supérieure montrait au participant que la météo avait changé. Ils ont jugé ce changement de fond d'écran pertinent avec une note de 6.4 sur 7 (SD=0.8).

Tâche secondaire

Les 12 participants ont été correctement impliqués dans la tâche secondaire durant toute la durée de l'expérience. 3 participants n'ont pas réussi à finir un sudoku mais les grilles étaient à 75% remplies en moyenne. Ces trois personnes se sont annoncées comme étant novices dans cette tâche. 7 participants ont rempli un sudoku à 100%. Ils ont mis en moyenne 10min30 pour le remplir. 2 participants ont complètement rempli 2 grilles de sudoku en un temps moyen de 5min46 par grille.

Facteurs repérés par les participants

Dans cette partie, nous présentons les résultats concernant l'identification des facteurs limitant le bon fonctionnement du système autonome rencontrés lors de l'expérience. Ces résultats sont exposés dans la Table 1. Pour chaque limitation, la colonne O représente le nombre de participants ayant annoncé oralement avoir vu cette limitation lors de l'expérience, soit en observant l'environnement du véhicule, soit via l'application Android. Cette information a été vérifiée par le biais d'un questionnaire et est reportée dans la colonne Q du tableau.

Dans le cas où les personnes ont vu le changement dans l'environnement et l'ont annoncé oralement, nous avons comparé les temps de prise de conscience entre les deux

groupes. La différence de temps de prise de conscience entre les 2 groupes au moment de l'apparition de la pluie est significative ($M_{app} = 4.2$ secondes, $SE = 0.84$, $M_{sansApp} = 5.60$ secondes, $SE = 0.55$, $t(8) = 3.13$, $p < .05$). Cependant, la différence de temps de prise de conscience au moment de la zone à fort relief n'est pas significative ($M_{app} = 16.00$ secondes, $SE = 8.51$, $M_{sansApp} = 17.00$ secondes, $SE = 11.93$, $t(6) = 0.068$, $p > .05$). Pour les autres limitations, trop peu de participants l'ont annoncé oralement pour pouvoir réaliser une analyse statistique (cf. Table 1).

Enfin, nous avons aussi analysé le temps de réaction des participants au moment de la reprise de contrôle. Là encore, la différence du temps de réaction entre le groupe ayant reçu une pré-alerte visuelle via l'application et le groupe sans l'application n'est pas significative ($M_{app} = 3.093$ secondes, $SE = 0.46$, $M_{sansApp} = 4.169$ secondes, $SE = 0.56$, $t(10) = 1.487$, $p > .05$).

Retours des participants

En plus des notes et des résultats aux questionnaires, il était important de récolter des informations écrites sur le ressenti des participants concernant l'expérience en générale et d'obtenir plus détails afin d'améliorer l'application pour les futures expériences. Dans ce sondage, il était demandé aux participants de suggérer des idées afin d'améliorer le design de l'application. Voici deux suggestions venant de deux participants différents :

- Participant 7 : "Logo plus gros et stopper l'application secondaire (sudoku) [dans le cas d'une situation critique]"
- Participant 12 : "Ajouter une lumière pour indiquer qu'il y a un obstacle".

Nous leur avons aussi demandé quels étaient selon eux les points positifs et négatifs de l'expérience. Voici un extrait de leurs réponses concernant les points positifs :

- Participant 5 : "Le sudoku est vraiment une activité que je pourrais faire si j'avais une voiture semi-autonome donc c'était très intéressant de s'impliquer et la conduite passait au second plan"
- Participant 2 : "Immersif, jouer au sudoku, gagner de la confiance dans la conduite autonome ; se rendre compte qu'on ne fait que très peu attention à l'extérieur (que de brefs regards par instants)"
- Participant 6 : "Le setup permet de s'immerger comme dans une situation réelle, qui crée la même sorte de "petit stress permanent" que lorsqu'on conduit sur l'autoroute par exemple. La voix du "takeover now" permet de nous sortir de cette torpeur efficacement."

Enfin, voici leurs remarques sur les points négatifs de l'expérience et sur les choses à améliorer pour des futures expériences :

TABLE 1: Nombre de participants ayant vu les différentes limitations au cours de l'expérience

	Fort relief		Pluie		Ligne gauche effacée		Rocher		Ligne droite effacée		Pré-alerte	
	O	Q	O	Q	O	Q	O	Q	O	Q	O	Q
Avec application	5	6	6	6	1	0	1	1	1	1	3	5
Sans application	3	4	5	6	1	1	1	2	1	1	/	/

- Participants 2 et 12 : "J'ai eu l'impression que peu de choses se passent (pas beaucoup d'événements)", "Davantage d'obstacles aurait été préférable"
- Participant 5 : "Utiliser le système pour la première fois fait "stresser", on ne sait pas à quoi s'attendre, aux différentes images et possibilités auxquelles s'attendre"

6 DISCUSSION

D'après les résultats reportés dans la partie Pré-tests, le concept et le design de l'application ont reçu des retours positifs. Les participants aux pré-tests ont trouvé que les informations transmises par l'application étaient claires. Cela a aussi permis de valider le changement de fond d'écran pour annoncer un changement de condition climatique dans l'environnement. Ces pré-tests nous ont aussi montré que chaque participant pouvait réaliser une tâche secondaire, tout en recevant des informations sur l'environnement du véhicule via l'application mobile.

Si on se concentre maintenant sur l'expérience principale, les résultats montrent que les participants étaient correctement engagés dans une tâche secondaire non liée à la surveillance de l'environnement du véhicule. Ainsi, les conditions de l'expérience permettaient de vérifier l'utilité de l'application Android pour un conducteur réalisant une tâche secondaire au volant d'un véhicule de niveau 3.

Les résultats de la Table 1 montrent qu'une majorité des participants a su identifier la zone à fort relief ainsi que la zone de pluie. Si on compare le nombre de participants ayant identifié les limitations avec ou sans l'application, on peut dire que cette dernière n'est pas spécialement utile pour aider à identifier les limitations, à part pour la zone à fort relief. En effet, le logo montré par l'application a poussé les conducteurs à mentionner oralement que la route s'élevait. Ceci est positif sachant qu'aucun d'entre eux ne savaient que ce genre de facteur pouvait être un facteur limitant le bon fonctionnement du système autonome avant l'expérience. De plus, le changement de fond d'écran du module supérieur de l'application, indiquant l'apparition de la pluie, a été vu plus rapidement par les conducteurs possédant l'application Android que par les conducteurs ayant seulement le sudoku en plein écran sur la tablette. Ceci suggère qu'il est aussi possible d'améliorer le temps de prise de conscience du conducteur par rapport à certaines limitations grâce à ce genre d'application.

Concernant les autres limitations proposées, peu de participants ont vu le marquage au sol effacé à deux endroits différents du scénario ainsi que le rocher présent sur la voie opposée. Pour le rocher, cela peut s'expliquer par le fait que la voiture passait rapidement à côté de l'obstacle alors les participants étaient concentrés sur la tâche secondaire. Leur regard était sûrement fixé sur le sudoku et le changement de couleur des capteurs de proximité sur l'application n'a pas suffi à attirer l'attention des conducteurs vers l'obstacle. De même, la modification de l'état des lignes sur l'application Android n'a pas suffi à attirer le regard des participants vers le marquage au sol dans l'environnement du véhicule. Pour augmenter la conscience du conducteur par rapport à ce facteur essentiel quant au bon positionnement du véhicule semi-autonome sur la voie, il serait possible de combiner l'affichage de l'état du marquage au sol sur l'application avec des vibrations envoyées dans le siège du conducteur lorsque le marquage se dégrade. Un prototype est en cours de développement et son efficacité sera bientôt testée [8].

Suite à la demande de reprise de contrôle initiée par le véhicule, le temps de réaction des participants est réduit d'une seconde grâce à la pré-alerte proposée par un logo sur l'application. Même si cette différence n'est pas statistiquement significative, cela demanderait à être testé avec un plus grand nombre de participants pour vérifier les effets de cette pré-alerte visuelle sur le temps de réaction. Dans le cadre de la conduite semi-autonome, d'autres études ont déjà montré les bénéfices des pré-alertes auditives quant au temps de réaction suite à une reprise de contrôle [30].

Ainsi, cette application multimodale offre de nouvelles possibilités de développement d'interactions homme-véhicule pour maintenir le conducteur dans la boucle de contrôle au cours de la conduite autonome. De plus, l'utilisation d'une tablette apparaît comme une tâche secondaire proche de la réalité dans le futur cadre de la conduite autonome. Ces résultats permettent de réfléchir à de nouvelles pistes de recherche et d'amélioration de l'application afin d'augmenter la conscience de l'environnement du conducteur ainsi que de développer des reprises de contrôle efficaces. Les pistes de recherches sont les suivantes :

- Définir les niveaux de sévérité en fonction des limitations. Il serait intéressant de définir différentes modalités et association de modalités par niveau de sévérité et de les comparer au cours d'une nouvelle expérience.

Seul un participant a annoncé que “lors des moments critiques on ne perçoit pas bien l’urgence de la situation”. Ceci montre qu’un travail sur les niveaux de criticité pourrait faire l’objet d’une étude plus détaillée. Ces niveaux pourraient également s’adapter en fonction de l’état du conducteur.

- Pour une limitation donnée, il serait également intéressant de tester plusieurs niveaux d’abstraction [22]. Par exemple pour les conditions météorologiques, il serait possible de signaler cette limitation en utilisant une simple couleur, un texte explicite, des formes ou des logos pour les modalités visuelles. Une expérience pourrait être menée pour savoir jusqu’à quel niveau d’abstraction la notification d’une limitation peut se faire. Ainsi, pour les conditions météorologiques, une simple couleur pourrait suffire tandis que, pour la détection d’un obstacle il serait nécessaire d’avoir un logo. Dans le cadre des interactions auditives, il serait possible de comparer l’utilisation d’un son ou conversation en fonction de la limitation. Différents niveaux de combinaison de modalités sont également une piste de recherche importante.
- Des recherches concernant la quantité d’information à transmettre sont également envisageable. En effet, en fonction de la confiance que le conducteur porte au système autonome, il serait possible de faire varier le niveau d’information à transmettre. Prenons par exemple une situation où un piéton traverse la route, que le véhicule le détecte mais qu’il n’est pas nécessaire de reprendre le contrôle. Certains conducteurs souhaiteraient simplement savoir que le véhicule a détecté un élément à l’avant du véhicule tandis que d’autres personnes pourraient souhaiter savoir que le véhicule a détecté un élément à l’avant et qu’il l’identifie en plus en tant que “piéton” [11].
- L’acceptation de l’application en fait un outil de recherche intéressant pour explorer de nouvelles formes de TOR, notamment en combinant les modalités de communication propres à l’application à celles du véhicule. La multimodalité des TOR étant reconnu comme indicateur de l’urgence de la situation [5], explorer de nouvelles modalités est pertinent.
- Une dernière possibilité serait de comparer l’utilisation de l’application avec l’utilisation d’un Head-Up Display afin de valider quelle interface serait la plus efficace en terme de maintien de l’attention du conducteur et communication de la situation.

7 CONCLUSION

Les voitures semi-autonomes de niveau 3 sont désormais prêtes au niveau technique, mais des recherches sont encore nécessaires au niveau des Interfaces Homme-Machine

pour garantir une reprise de contrôle efficace dans les situations plus critiques. Maintenir le conducteur occupé dans une tâche secondaire tout en le gardant conscient de son environnement semble garantir les meilleures performances. Pour ce faire, nous avons développé une application pour tablette qui permet de transmettre au conducteur les informations critiques qui pourraient affecter le bon fonctionnement du système de conduite autonome pendant l’utilisation normale d’une tablette en écran partagé. Nous avons testé cette application dans un simulateur de conduite semi-autonome. Nous avons constaté que les participants aux tests ont pu identifier certains des facteurs critiques proposés. Globalement, les participants ont aussi apprécié la facilité de compréhension des informations transmises par l’application. À présent, nous explorons aussi une modalité alternative d’affichage par superposition transparente pour permettre à l’utilisateur d’exploiter toute la surface de l’écran pour la tâche secondaire. Des tests comparatifs seront effectués afin de comprendre quelle interface est la plus efficace pour augmenter la conscience de l’environnement ainsi que pour améliorer les performances lors de la reprise de contrôle.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été soutenu par la Fondation Hasler dans le cadre du projet Ad-Vitam. Nous souhaitons remercier toutes personnes ayant contribué à l’écriture de cet article ainsi que les personnes ayant travaillé sur l’implémentation des différentes parties du projet.

RÉFÉRENCES

- [1] [n. d.]. Waze. <https://www.waze.com/>
- [2] 2018. GENIVI Vehicle Simulator. <https://at.projects.genivi.org/wiki/display/PROJ/GENIVI+Vehicle+Simulator>
- [3] 2018. Human error as a cause of vehicle crashes. <http://cyberlaw.stanford.edu/blog/2013/12/human-error-cause-vehicle-crashes>
- [4] Audi. 2018. *A8/S8 Owner Manual*. <https://ownersmanuals2.com/audi/a8-s8-2018-owners-manual-72492>.
- [5] P. Bazilinskyy, S.m. Petermeijer, V. Petrovych, D. Dodou, and J.c.f. De Winter. 2018. Take-over requests in highly automated driving : A crowdsourcing survey on auditory, vibrotactile, and visual displays. *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour* 56 (2018), 82–98. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.04.001>
- [6] David Beattie, Lynne Baillie, Martin Halvey, and Rod McCall. 2014. What’s Around the Corner ? Enhancing Driver Awareness in Autonomous Vehicles via In-Vehicle Spatial Auditory Displays. *Proceedings of the NordiCHI 2014 : The 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction : Fun, Fast, Foundational*. <https://doi.org/10.1145/2639189.2641206>
- [7] Shadan Sadeghian Borojeni, Torben Wallbaum, Wilko Heuten, and Susanne Boll. 2017. Comparing Shape-Changing and Vibro-Tactile Steering Wheels for Take-Over Requests in Highly Automated Driving. *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications - AutomotiveUI 17* (2017). <https://doi.org/10.1145/3122986.3123003>

- [8] Marine Capallera, Peio Barbé-Labarthe, Leonardo Angelini, Omar Abou Khaled, and Elena Mugellini. 2019. Convey situation awareness in conditionally automated driving with a haptic seat. 161–165. <https://doi.org/10.1145/3349263.3351309>
- [9] Marine Capallera, Quentin Meteier, Emmanuel de Salis, Leonardo Angelini, Stefano Carrino, Omar Abou Khaled, and Elena Mugellini. 2019. Owner Manuals Review and Taxonomy of ADAS Limitations in Partially Automated Vehicles. In *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '19)*. ACM, New York, NY, USA, 156–164. <https://doi.org/10.1145/3342197.3344530>
- [10] Riccardo Coppola and Maurizio Morisio. 2016. Connected Car : Technologies, Issues, Future Trends. *Comput. Surveys* 49 (10 2016), 1–36. <https://doi.org/10.1145/2971482>
- [11] L. M. Cysneiros, M. Raffi, and J. C. Sampaio do Prado Leite. 2018. Software Transparency as a Key Requirement for Self-Driving Cars. In *2018 IEEE 26th International Requirements Engineering Conference (RE)*. 382–387. <https://doi.org/10.1109/RE.2018.00-21>
- [12] Dmitrijs Dmitrenko, Emanuela Maggioni, Chi Vi, and Marianna Obrist. 2017. What Did I Sniff? : Mapping Scents Onto Driving-Related Messages. 154–163. <https://doi.org/10.1145/3122986.3122998>
- [13] DMV.CA. 2018. Testing of Autonomous Vehicles. <https://www.dmv.ca.gov/portal/dmv/detail/vr/autonomous/testing>
- [14] Ebru Dogan, Mohamed-Cherif Rahal, Renaud Deborne, Patricia Delhomme, Andras Kemeny, and Jérôme Perrin. 2017. Transition of control in a partially automated vehicle : Effects of anticipation and non-driving-related task involvement. *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour* 46 (2017), 205 – 215. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.01.012>
- [15] Francesca Favarò, Sky Eurich, and Nazanin Nader. 2017. Autonomous vehicles' disengagements : Trends, triggers, and regulatory limitations. *Accident; analysis and prevention* 110 (11 2017), 136–148. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.11.001>
- [16] Francesca M. Favarò, Nazanin Nader, Sky O. Eurich, Michelle Tripp, and Naresh Varadaraju. 2017. Examining accident reports involving autonomous vehicles in California. *PLOS ONE* 12, 9 (09 2017), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184952>
- [17] Yannick Forster, Frederik Naujoks, Alexandra Neukum, and Lynn Huestegge. 2017. Driver compliance to take-over requests with different auditory outputs in conditional automation. *Accident Analysis & Prevention* 109 (2017), 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.09.019>
- [18] Thomas Grah, Felix Epp, Martin Wuchse, Alexander Meschtscherjakov, Frank Gabler, Arnd Steinmetz, and Manfred Tscheligi. 2015. Dorsal Haptic Display : A Shape-changing Car Seat for Sensory Augmentation of Rear Obstacles. In *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '15)*. ACM, New York, NY, USA, 305–312. <https://doi.org/10.1145/2799250.2799281>
- [19] Gregory Yoon Rebecca Fikentscher Joshua Doyle Charlene Sade Dana Lukuc Mike Simons Jim Wang Jing Harding. 2014. (2014).
- [20] SAE International. 2018. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.
- [21] M. Johns, B. Mok, W. Talamonti, S. Sibi, and W. Ju. 2017. Looking ahead : Anticipatory interfaces for driver-automation collaboration. In *2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. 1–7. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2017.8317762>
- [22] Ann-Kathrin Kraft, Frederik Naujoks, Johanna Wörle, and Alexandra Neukum. 2018. The impact of an in-vehicle display on glance distribution in partially automated driving in an on-road experiment. *Transportation Research Part F : Traffic Psychology and Behaviour* 52 (2018), 40 – 50. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.11.012>
- [23] David R. Large, Victoria Banks, Gary Burnett, and Neofytos Margaritis. 2017. Putting the Joy in Driving : Investigating the Use of a Joystick as an Alternative to Traditional Controls within Future Autonomous Vehicles. *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications - AutomotiveUI 17* (2017). <https://doi.org/10.1145/3122986.3122996>
- [24] Andreas Löcken, Heiko Müller, Wilko Heuten, and Susanne Boll. 2013. AmbiCar : Towards an in-vehicle ambient light display.
- [25] David Miller, Annabel Sun, Mishel Johns, Hillary Ive, David Sirkin, Sudipto Aich, and Wendy Ju. 2015. Distraction Becomes Engagement in Automated Driving. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 59 (09 2015), 1676–1680. <https://doi.org/10.1177/1541931215591362>
- [26] Brian Mok, Mishel Johns, Stephen Yang, and Wendy Ju. 2017. Reinventing the Wheel : Transforming Steering Wheel Systems for Autonomous Vehicles. 229–241. <https://doi.org/10.1145/3126594.3126655>
- [27] Frederik Naujoks, Yannick Forster, Katharina Wiedemann, and Alexandra Neukum. 2017. Improving Usefulness of Automated Driving by Lowering Primary Task Interference through HMI Design. *Journal of Advanced Transportation* 2017 (08 2017), 1–12. <https://doi.org/10.1155/2017/6105087>
- [28] Ronald Schroeter and Fabius Steinberger. 2016. PokÉMon DRIVE : Towards Increased Situational Awareness in Semi-automated Driving. (2016), 25–29. <https://doi.org/10.1145/3010915.3010973>
- [29] Arie van den Beukel and Mascha Van der Voort. 2017. How to assess driver's interaction with partially automated driving systems? A framework for early concept assessment. *Applied Ergonomics* 59 (03 2017), 302–312. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.09.005>
- [30] Remo M.A. van der Heiden, Shamsi T. Iqbal, and Christian P. Janssen. 2017. Priming Drivers Before Handover in Semi-Autonomous Cars. In *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*. ACM, New York, NY, USA, 392–404. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025507>
- [31] Tobias Vogelpohl, Matthias Kühn, Thomas Hummel, and Mark Vollrath. 2019. Asleep at the automated wheel—Sleepiness and fatigue during highly automated driving. *Accident Analysis & Prevention* 126 (2019), 70 – 84. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.013> 10th International Conference on Managing Fatigue : Managing Fatigue to Improve Safety, Wellness, and Effectiveness".
- [32] MinJuan Wang, Sus Lundgren Lyckvi, Chenhui Chen, Palle Dahlstedt, and Fang Chen. 2017. Using Advisory 3D Sound Cues to Improve Drivers' Performance and Situation Awareness. (2017), 2814–2825. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025634>